

Eixo Temático ET-06-018 - Energia

PEGADA DE CARBONO ASSOCIADA A TELHA FOTOVOLTAICA DO TIPO CERÂMICO COM CÉLULA DE Si-poli

Raoni Pinheiro¹, Valeska L. Menezes², Monica Carvalho³

¹Mestrando, Programa de Pós-Graduação em Energias Renováveis, Universidade Federal da Paraíba. E-mail: pinheiro.raoni@cear.ufpb.br.

²Doutoranda, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal da Paraíba. E-mail: menezes_valeska@hotmail.com.

³Orientadora, Programa de Pós-Graduação em Energias Renováveis, Universidade Federal da Paraíba. E-mail: monica@cear.ufpb.br.

RESUMO

Processos de conversão de energia e utilização ineficiente da energia secundária estão entre os principais responsáveis pelas emissões excessivas de gases de efeito estufa. Como solução mitigadora, tem-se elevado a participação de fontes de energia renováveis na matriz energética mundial. No Brasil, cerca de 60% da oferta interna de energia são provenientes de fontes de energias não-renováveis, como o petróleo, gás natural e carvão. As telhas fotovoltaicas no contexto do conceito de painéis solares integrados à construção, mais conhecido pelo acrônimo em inglês, *Building Integrated Photovoltaics* (BIPV), são peças essenciais para a composição paisagística e arquitetônica que tanto rebusca e oprime a implementação destes sistemas de fontes de energias renováveis. O objetivo deste estudo é calcular a pegada de carbono associada a um sistema para fornecimento de eletricidade a residências, baseado em telhas fotovoltaicas. A metodologia da Avaliação de Ciclo de Vida foi aplicada para quantificação da pegada de carbono, utilizando-se o *software* SimaPro 8.4.0.0, base de dados Ecoinvent, e método de avaliação de impacto ambiental IPCC 2013 GWP 100a. Obteve-se para o sistema baseado em telha fotovoltaica 1.160 kg CO₂-eq para atender às demandas de uma residência do tipo popular (0.5 kWp). O uso da telha fotovoltaica tem uma melhor aceitação aos olhos arquitetônicos, uma vez que ela harmoniza com a arquitetura em um projeto, podendo ser integrada num conceito BIPV.

Palavras-chave: Telhas Fotovoltaicas, Pegada de Carbono, ACV, BIPV, Energia Solar.

NOMENCLATURA

BIPV	Building Integrated Photovoltaics
ACV	Avaliação do Ciclo de Vida
GWP	Global Warming Potential
IPCC	Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas
kg CO ₂ -eq	Quilo de dióxido de carbono equivalente
kW	Potência Elétrica

INTRODUÇÃO

As telhas fotovoltaicas no contexto do conceito de painéis solares integrados à construção (mais conhecido pelo acrônimo em inglês, *Building Integrated Photovoltaics*, BIPV) são peças essenciais para a composição paisagística e arquitetônica que tanto rebusca e oprime a implementação destes sistemas de fontes de energias renováveis, contrassenso às dimensões continentais que o Brasil tem, que abrange cerca de 47% da área da América do Sul, o que corresponde a aproximadamente 8.5 milhões de km² (NUPAC, 2008). Historicamente, 75% da geração de energia no Brasil é oriunda da hidroeletricidade e outras fontes não renováveis, as questões ambientais e as grandes distâncias entre o ponto de geração e o ponto de consumo

fazem com que os custos envolvidos para a implantação de novas usinas sejam elevados (MME, 2008).

Segundo o Balanço Nacional de Energia do ano de 2015, no Brasil, cerca de 60% da oferta interna de energia são provenientes de fontes de energias não-renováveis, como o petróleo, gás natural e carvão (BRASIL, 2015). Este cenário tem elevado a preocupação com o meio ambiente e a busca pela redução na quantidade de emissões de gases do efeito estufa (GEE). O aumento na concentração desses gases na atmosfera pode elevar a temperatura do planeta, com consequências negativas (IPCC, 2007).

Por meio do Protocolo de Quioto, no ano de 2009, o Brasil assumiu um compromisso internacional (voluntário) com o objetivo de reduzir as emissões de GEE de 36,1% a 38,9%, ou seja, cerca de 1,2Gt de CO₂-eq (IPCC, 2007). As empresas passaram então a utilizar um indicador ambiental para mensurar as emissões GEE em termos de CO₂-eq, o que comprovou que as medidas adotadas pelo país para mitigar a concentração de GEE reduziram a pegada de carbono nos últimos anos, segundo dados do ministério de cultura, tecnologia e inovação (BRASIL, 2012).

Processos de conversão de energia e utilização ineficiente da energia secundária estão entre os principais responsáveis pelas emissões excessivas de GEE. Como solução mitigadora, tem-se elevado a participação de fontes de energia renováveis na matriz energética mundial. A utilização de energia solar, por exemplo, representou 1,4% de participação na matriz energética brasileira, um crescimento de 97% comparada ao ano anterior (BRASIL, 2016). Os sistemas de energia solar fotovoltaicos são umas das soluções mais promissoras para o futuro e apresentam diversas vantagens quando comparados às fontes de energia tradicionais.

No sistema solar fotovoltaico a energia solar é convertida diretamente em energia elétrica, por meio do efeito da radiação solar sob materiais semicondutores. A energia gerada pode ser injetada diretamente na rede de distribuição de energia e ser convertida em créditos que serão abatidos mensalmente segundo a resolução 482/2012 da Agência Reguladora de Energia Elétrica (ANEEL) (BRASIL, 2012).

Dessa forma, quando se avalia a viabilidade de fontes alternativas ainda se obsta nas questões de viabilidade econômica, desta forma a proposta de um estudo para elaboração de um sistema fotovoltaico prático de baixo custo, integrado a edificação e conectado à rede, faz-se importante avaliar o ciclo de vida deste produto para poder compor parâmetros de estudos econômicos para produção em larga escala, onde o desenvolvimento inicia-se com o processo criativo, passando pelo processo construtivo, buscando materiais e métodos construtivos que possibilitem e viabilizem essas telhas solares a serem parte integrante da pele da edificação.

Por sua vez um dos mais amplos métodos de alta performance científica que avalia os impactos ambientais potenciais de um produto, um serviço, um processo, ou negócio durante seu ciclo de vida, com base na expressão “do berço ao túmulo”, ou seja, da extração e tratamento das matérias-primas, manufatura, transporte e distribuição, uso e fim de vida, é a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) que se utiliza de uma estrutura normatizada e reconhecida internacionalmente (ABNT, 2014a; HEISKANEN, 2002; WENZEL *et al.*, 2001).

O Inmetro - Instituto Nacional de Metodologia, Qualidade e Tecnologia identifica o ACV como um método que ajuda a identificar as oportunidades para melhorar o desempenho ambiental de produtos, serviços, processos ou negócios, nos vários estágios do ciclo de vida, para informar (INMETRO, 2017). Possibilitando a escolha de indicadores de desempenho ambiental relevantes, a incorporação de técnicas de medições e marketing. Assim, a metodologia ACV é adequada para avaliar produtos e serviços de maneira holística. Ela busca identificar prioridades para ação e para evitar impactos deslocados quando um novo produto ou nova tecnologia são introduzidos. (INMETRO, 2017; MAZUR, 2011).

Outro ponto é a importância de uma normatização, pois as crescentes relevâncias e consequências ambientais associadas aos produtos e serviços em seu processo produtivo e sua capacidade de geração de impactos socioeconômicos irreparáveis é cada vez mais visível. Por isto, a criação de métodos para melhor entender e gerenciar, de forma proativa, tais potenciais impactos é fundamental. A metodologia da ACV é a mais aplicada internacionalmente para a

quantificação de potenciais impactos ambientais, com padrões e parâmetros definidos pela *International Organization for Standardization* (ISO, Organização Internacional de Normalização) nas resoluções 14040 e 14044 (ISO 14040, 2006; ISO 14044, 2006).

A ACV é cada vez mais empregada pela indústria da construção civil para avaliar o desempenho ambiental dos edifícios, dos materiais de construção e das demais práticas construtivas. Com o atual crescimento das vendas de material de construção no Brasil, há uma grande oportunidade no sentido de promover as vantagens dos produtos cerâmicos e ajudar a posicionar este material em relação aos seus equivalentes funcionais.

O estudo insere-se num projeto mais amplo, uma dissertação de mestrado que desenvolve análise energética, ambiental e econômica para telhas fotovoltaicas, dentro do tema de painéis solares integrados à construção (do inglês *Building Integrated Photovoltaic*, BIPV).

OBJETIVO

O objetivo deste estudo é quantificar a pegada de carbono associada a um sistema de fornecimento de eletricidade, baseado em telhas fotovoltaicas, com capacidade de 0,52 kWp.

MATERIAIS E MÉTODOS

Avaliação do Ciclo de Vida

No Brasil, em meados de 1980, o instrumento de Avaliação dos Impactos Ambientais começou a ser utilizado pelas empresas para selecionar a melhor alternativa sob o ponto de vista ambiental, econômico e ético. A Avaliação de Impactos Ambientais rastreia toda ação, desde o início do processo, sendo possível identificar, prever, interpretar e prevenir os efeitos ambientais causados ao meio ambiente ao homem (SILVA, 1999).

Existem diversos métodos de Avaliação de Impactos ambientais, e por meio deles é possível coletar, analisar, avaliar, comparar e organizar informações quantitativas e qualitativas de determinada ação que causa efeitos para o meio ambiente (SILVA, 1999). Um dos métodos mais utilizados e que foi escolhido para este estudo é a Avaliação de Ciclo de Vida (ACV), normalizada internacionalmente pela série ISO 14040 (2006) e ISO 14044 (2006), e que no Brasil foram traduzidas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) nas NBR 14040 (ABNT, 2014a) e NBR 14044 (ABNT, 2014b). A ACV está voltada para interpretação de dados ambientais em todas as fases da cadeia produtiva, que envolve desde a extração dos recursos naturais, passando pela produção, utilização até a disposição final (ABNT, 2014a; ABNT, 2014b).

Na metodologia da ACV são definidos quatro componentes básicos (ABNT, 2014a): definição de objetivo e escopo, análise de inventário, avaliação de impacto e interpretação. Isto engloba desde a construção do processo, onde são detalhados os materiais e os resíduos, passando pela etapa de montagem, que inclui toda operação como o transporte e energia até chegar à análise do ciclo de vida que junta o tratamento do resíduo à montagem, possibilitando determinar e avaliar as causas dos impactos ambientais associadas ao processo em estudo (HINZ et al., 2006).

A definição de objetivo e escopo é a etapa que define e descreve o processo ou produto, estabelecendo o contexto no qual a avaliação será realizada e identificando os limites e efeitos ambientais a serem revistos para a avaliação. A análise do inventário identifica e quantifica as entradas e saídas do sistema. A avaliação de impacto analisa os efeitos humanos e ecológicos da utilização de energia, água, materiais e descargas ambientais identificadas na análise do inventário. Por fim, a interpretação avalia os resultados da análise do inventário. Dos resultados dessa etapa podem ser tiradas as conclusões e recomendações às tomadas de decisão (BARBOSA et al., 2008).

O *software* utilizado é o SimaPro 8.4.0.0 (PréConsultants, 2017), que é uma ferramenta profissional altamente especializada para ACV, para coletar, analisar e monitorar o desempenho ambiental de produtos, processos e serviços. O SimaPro permite modelar e analisar dos mais complexos aos mais simples ciclos de vida de acordo com ISO 14040 (2006) e ISO 14044 (2006) (RODRIGUES et al., 2008). A base de dados escolhida para compor o inventário foi a

Ecoinvent 3.3 (ECOINVENT, 2017), que contém dados sobre produção de energia, transporte, materiais de construção, produção de produtos químicos, produção de metais e frutas e legumes. A base de dados consiste de mais de 10.000 conjuntos de dados interligados, cada um dos quais descreve um inventário de ciclo de vida em um nível do processo.

Existem diversos métodos de avaliação de impacto ambiental, cada um com suas particularidades. O método escolhido para calcular a pegada de carbono foi o IPCC 2013 GWP 100a (IPCC, 2013). Devido à preocupação com as mudanças climáticas provocadas pelo aquecimento global o IPCC desenvolveu um método para contabilizar as emissões atmosféricas de GEE. O potencial de aquecimento global, GWP (*Global Warming Potential*), contabiliza o total de emissões de CO₂ e de GEE, expressando o resultado em termos de carbono equivalente de dióxido de carbono (CO₂.eq) para um sistema definido ou atividade (INTERNATIONAL PANEL ON CLIMATE CHANGE - IPCC, 2014).

O GWP de uma substância é analisado em horizontes de tempo longos ou curtos. Horizontes de tempo longos (100 e 500 anos) são utilizados para o efeito cumulativo, enquanto horizontes de tempo curtos (20 anos) traduzem uma indicação dos efeitos de curto-prazo das emissões. O aquecimento global é dado pela multiplicação do GWP calculado pela massa (kg) de substância emitida (FERREIRA, 2004).

Objetos de estudo

A unidade funcional do estudo, a qual se relacionam todas as entradas e saídas do sistema, é a instalação de um sistema solar fotovoltaico de 0,52 kWp, para atender uma casa popular nos padrões de um projeto do Programa Nacional de Habitação “Minha Casa Minha Vida”, envolvendo as seguintes etapas do ciclo de vida da telha fotovoltaica: produção e uso. Nesta etapa não foi considerada a disposição final (descarte).

A etapa de análise do sistema contempla os sistemas de captação, ou seja, somente as telhas fotovoltaicas. O inversor, cabos e sistemas de proteção foram excluídos da análise, pois trabalhos futuros vão comparar o sistema baseado em telhas fotovoltaicas com um sistema tradicional (painéis), e em ambos os sistemas os equipamentos seguintes aos de captação são comuns e estariam presentes em ambas as análises.

O segundo estágio envolveu o levantamento do inventário para identificação e quantificação dos materiais, entradas de recursos, emissões e saídas de produtos no ciclo de vida do sistema de cada produto. Para o material em estudo, as entradas incluíram a matéria-prima, a energia e outros materiais para a manufatura do produto. As saídas incluíram as emissões para o ar, os efluentes líquidos e os resíduos sólidos provenientes das unidades de processo. Como o interesse da avaliação é a pegada de carbono, ainda que todos os impactos fossem quantificados, aqui se concentrou o foco nas emissões atmosféricas, traduzidas em dióxido de carbono equivalente.

Telhas fotovoltaicas

A telha foi especialmente modificada para acomodar o módulo fotovoltaico, e realizada com o auxílio de argilas especiais para garantir uma boa durabilidade, que atinja próximo a 30 anos e com todas as características morfológicas: aparência, geometria, absorção, flexão, congelamento-descongelamento entre outros, de acordo com a norma ABNT NBR 15.310:2009 (ABNT, 2009), e seguindo os padrões mínimo das Normas Técnicas Europeias (UNI EM).

Para melhor Integrabilidade da célula fotovoltaica na telha cerâmica estilo romana plana, há necessidade da prolongação na largura da parte superior, mantendo a espessura da calha. Essa expansão deverá seguir em correlação a largura da célula fotovoltaica que pode ser de 210mm a 465mm.

Para uma melhor eficiência de captação de radiação da célula, houve necessidade de colocação da célula na parte superior da telha e não na calha, já que esta sofre as intemperes como sombreamento parcial, diminuição do ângulo de captação. A calha é mais propensa ao acúmulo de resíduos, que por sua vez diminuem a eficiência do sistema.

O modelo da telha utilizado aqui para implementação da célula fotovoltaica é o Modelo Romana Plana (Figura 1), por ser um dos modelos mais convencionais utilizado na arquitetura brasileira, contribuindo assim para sua implementação em edificações já existentes e contemplando os projetos futuros. As dimensões da telha são 600 mm x 590 mm. Devido à confidencialidade dos dados envolvidos, somente informações básicas serão apresentadas aqui.



Figura 1. Telha modelo romana plana (MIRANDA CORREA, 2017).

O modelo da célula fotovoltaica será muito importante, pois com base no seu tipo, sua modelagem e potência influenciará na melhor *performance* da telha fotovoltaica como um todo. Aqui se utilizará um modelo de célula de silício mono-cristalino e cada telha será de 30 W. As telhas já incluem caixa de junção com cabos e conectores MC4 nas suas polaridades. A Tabela 1 mostra a composição material do sistema solar baseado em telhas fotovoltaicas.

Tabela 1. Equipamento e material necessário para a instalação da telha solar fotovoltaica – Sistema de Telha Fotovoltaica de 0,52kWp.

Descrição	Composição material principal
Quantidade: 18 telhas Potência 30Wp cada Área: 6,37m ² (vida útil 25 anos)	<ul style="list-style-type: none">• 159,3 kg de cerâmica vermelha,• 4,311 m² de célula fotovoltaica (mono cristalino).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a especificação dos processos no *software* SimaPro, obteve-se os resultados apresentados na Tabela 3.

Tabela 3. Pegada de carbono associada a um sistema de telhas fotovoltaicas (0,52 kWp).

TELHA FOTOVOLTAICA	
Célula Fotovoltaica (m-Si)	1.090 kg CO ₂ -eq
Telha Cerâmica	70 kg CO ₂ -eq
TOTAL	1.160 kg CO₂-eq

O que elevou o impacto ambiental da telha fotovoltaica foi a utilização de uma célula fotovoltaica do tipo silício monocristalino (m-Si), que são fabricadas a partir do cristal de silício fundido de alta pureza (Si = 99,99% a 99,9999%) em reatores sob atmosfera controlada e com velocidades de crescimento do cristal extremamente lenta, num processo conhecido como método Czochralski (FAHRENBRUCH et al., 1983). Uma vez que as temperaturas envolvidas são da ordem de 1400°C, o consumo de energia neste processo é extremamente intenso.

Verificamos ainda nesse estudo que se levarmos em consideração a mudança da célula na telha fotovoltaica para uma tecnologia de silício policristalino, apesar de serem menos eficientes, mais baratas e possuírem processamento mais simples quando comparadas às de m-Si (KAZMERSKI, 1999), teríamos uma redução na pegada de carbono para 822 kg CO₂-eq.

Outros autores já estudaram formas de expressar em números os impactos ambientais de um sistema solar fotovoltaico, levando em consideração desde a extração da matéria prima até seu descarte final. Estudos anteriores já foram conduzidos com esse objetivo, e a grande maioria dos autores fizeram uso da ACV, que é reconhecida mundialmente para avaliar os potenciais impactos energéticos e ambientais de um sistema fotovoltaico (FTHENAKIS e KIM, 2011).

Analisando os estudos anteriores de Alsema e Nieuwlaar (2000), Jungbluth (2005), Alsema e De Wild-Scholten (2006), Yue, You e Darling (2014) e Bayer, Koshinen e Blechinger (2015), verificou-se que esses pesquisadores reportaram uma ampla gama de valores de energia primária consumido, balanço de carbono e *payback time* de carbono para placas fotovoltaicas que utilizam silício mono e poli cristalinos. Além da incerteza inerente aos dados utilizados, tem que se destacar a adoção de diferentes pressupostos e metodologias, o que gera mais incertezas nos resultados e impossibilita comparação direta de resultados.

CONCLUSÕES

A energia solar fotovoltaica integrada em edifícios (*Building Integrated Photovoltaics*, BIPV) consiste na utilização de módulos fotovoltaicos que estão embutidos na estrutura de um edifício, em substituição de materiais de construção convencionais (e.g., telhas).

O objetivo deste estudo foi alcançado com sucesso, e a pegada de carbono associada a um sistema fotovoltaico de 0,52 kWp baseado em telhas fotovoltaicas foi calculada. Este é o primeiro passo de um estudo mais amplo, cujos próximos passos incluem a quantificação da pegada de carbono associada a um sistema fotovoltaico tradicional (baseado em painéis), para comparação com o sistema baseado em telhas fotovoltaicas.

BIPV ainda é um nicho de mercado, mas possui uma melhor aceitação aos olhos arquitetonos, já que há uma maior harmonização com a arquitetura de um projeto, podendo ser integrada num conceito BIPV.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, Bolsa de Produtividade 303199/2015-6.

REFERÊNCIAS

ALSEMA, E. A.; NIEUWLAAR, E. Energy viability of photovoltaic systems. **Energy Policy**, v. 28, p. 999-1010, 2000.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. Gestão Ambiental - Avaliação do Ciclo de Vida - Princípios e estrutura: NBR ISO 14040, Rio de Janeiro: ABNT, 2009 – versão corrigida 2014a.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. Gestão ambiental -Avaliação do ciclo de vida - Requisitos e orientações: NBR ISO 14044, Rio de Janeiro: ABNT, 2009 – versão corrigida 2014b.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 15.310: Componentes cerâmicos - Telhas - Terminologia, requisitos e métodos de ensaio, 2009.

BARBOSA, A. F. et al. Conceitos e aplicações de Análise do Ciclo de Vida (ACV) no Brasil. **Revista Gerenciais**, 2008.

BRASIL. ANEEL. Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012. Estabelece as condições gerais para acesso microgeração e minigeração distribuídas aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>>. Acesso em: 08 nov. 2017.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Balanco energético nacional - BEN**. Brasília: MME, 2016.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento, Industrial e Comércio Exterior. Conselho Nacional de Metrologia. **Resolução nº 01, de 6 de abril de 2011**. Dispõe sobre a Aprovação do Regimento Interno e da composição do Comitê Gestor do Programa Brasileiro de Avaliação do Ciclo de Vida e dá outras providências. Brasília: 2011.

ECOINVENT. Database, version 3, 2015. Disponível em: <<http://www.ecoinvent.ch>>. Acesso em: 21 nov. 2017.

FAHRENBRUCH, M. B.; BUBE, R. H. **Fundamentals of solar cells**. New York, Academic Press, 1983.

FERREIRA, J. V. **Análise do ciclo de vida dos produtos**. Viseu: Instituto Politécnico de Viseu, 2004.

FTHENAKIS, V.; KIM, H. C.. Life cycle assessment of high-concentration photovoltaic systems. **Progress in Photovoltaics**, v. 21, n. 3, p. 379-388, 2011. <https://doi.org/10.1002/pip.1186>

HEISKANEN, E. The institutional logic of life cycle thinking. **Journal of Cleaner Production**, v. 10, p. 427-437, 2002.

KAZMERSKI, L. L. Photovoltaic devices: a 2000 overview. **Journal of Crystal Growth**, v. 197, p. 733-742, 1999.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. Relatório IPCC/ONU Novos cenários climáticos, 2007. Disponível em: <<http://www.ecolatina.com.br/pdf/ipcc-completo.pdf>>. Acesso em: 21 nov. 2017.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. Revised supplementary methods and good practice guidance arising from the kyoto protocol, 2013. Disponível em: <<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/kpsg/>>. Acesso em: 21 nov. 2017.

ISO 14040. 2006. Environmental management – life cycle assessment – principles and framework. International Standard Organization, Geneva, Switzerland.

ISO 14044. 2006. Environmental management – life cycle assessment – requirements and guidelines. International Standard Organization, Geneva, Switzerland.

MAZUR, F. **Avaliação do Ciclo de Vida do Produto**: uma ferramenta de gestão ambiental. 2011. 36p. Monografia (Especialização em Gestão Industrial) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2011. MIRANDA CORREA. Site da empresa. 2017. Disponível em: <<http://www.mirandacorrea.com.br/portfolio/3c>>. Acesso em: 21 nov. 2017.

NUPAC - Núcleo de Pesquisas Antárticas e Climáticas. Disponível em:<<http://www.ufrgs.br/antartica/antartica-antartida.html>>. Acesso em: 15 out. 2017.

SILVA, E. **Técnicas de avaliação de impactos ambientais**. Viçosa: CPT, 1999.

UNI EN - Normas Técnicas da União Europeia. Disponível em: <<http://www.uni.com>>. Acesso em: 15 out. 2017.

WACKERNAGEL, M.; REES, W. E. **Our Ecological Footprint**: Reducing Human Impact on the Earth. New Society Publishers, Gabriola Island, British Columbia, Canadá, 1996.

WENZEL, H.; HAUSCHILD, M.; ALTING, L. Environmental Assessment of Products. In: **Methodology, Tools and Case Studies in Product Development**. 3. ed. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2001. v. 1.